Revista Internacional de
**Ingeniería
de Estructuras**

Vol. 25, 2, 167-182 (2020)

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF COUPLING BEAMS WITH DIFFERENT RELATION OF SPAN VS DEPTH BY MEANS OF FINITE ELEMENTS

Brian Cagua(1), Julia Pilatasig(1) , Ana Gabriela Haro(2)

(1)Maestría en Estructuras. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. bjcagua@espe.edu.ec
jepilatasig3@espe.edu.ec
(2)Profesora. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos.
agharo@espe.edu.ec

Received: October 2019. Accepted: February 2020

ABSTRACT

The subject of coupling beams and the investigation of their structural behavior with different aspect ratios (span / depth) is limited. This article exposes the behavior analysis of coupling beams with different aspect ratios (0.50, 1.0, 1.5, …, 5.0). Finite element models are used to determine displacements, calculate principal and shear stresses in the determined fault mechanism based on a maximum beam rotation of 0.02 rad. The purpose of this article is to be the basis for more advanced studies that are necessary for the region given its susceptibility to earthquakes.

Keywords: reinforced concrete shear/structural walls, coupling beams, aspect ratio, finite elements, earthquakes.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE ACOPLE CON DIFERENTE RELACIÓN DE LONGITUD VS PERALTE MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

RESUMEN

El tema de vigas de acople y la investigación de su comportamiento estructural con diferentes relaciones de aspecto (longitud/peralte) es limitado. Este artículo expone el análisis del comportamiento de las vigas de acople con diferentes relaciones de aspecto (0.50, 1.0, 1.5, …, 5.0). Se emplea modelos de elementos finitos para determinar desplazamientos, calcular esfuerzos principales y de corte en el mecanismo de falla determinado en base a una rotación máxima de la viga de 0.02 rad. El propósito de este artículo es ser base de estudios más avanzados que son necesarios para la región dada su susceptibilidad a terremotos.

Palabras claves: Muros cortantes/estructurales de hormigón armado, vigas de acople, relación de aspecto, elementos finitos, sismos.

1. INTRODUCCIÓN

La tendencia de edificios ubicados en zonas sísmicas es emplear muros de cortante o muros estructurales para controlar los desplazamientos laterales y con ello reducir las derivas de piso mejorando el comportamiento estructural. Es habitual encontrar muros de corte en el área de ascensores y gradas, los mismos que presentan aberturas, destinadas a puertas o ventanas, lo que los deja conectados por vigas cortas que a menudo son muy peraltadas. Estos muros se refieren a los denominados muros acoplados y a dichas vigas se les conoce como vigas de acople.

En sismos anteriores, como el de Muisne de 2016 en Ecuador o el de Chile de 2010, se pudo apreciar que el comportamiento de algunos muros acoplados mostró una falla anticipada en las vigas de acople debido a que no se consideró una armadura especial en dichos elementos para controlar la compresión y tensión diagonal, lo que ocasionó que no se alcance la resistencia máxima del muro acoplado (Bastias, 2018).

Los muros estructurales son elementos efectivos para controlar los desplazamientos laterales de los edificios debido a que proporcionan una alta rigidez lateral y presentan un adecuado comportamiento ante cargas de servicio (Paulay & Priestley, 1993). Para cargas últimas este sistema estructural puede aportar altos niveles de resistencia y ductilidad siempre y cuando se tenga un adecuado diseño y un correcto detallamiento (Chai & Elayer, 1999).

En el sistema estructural de edificios con muros de cortante los elementos denominados vigas de acople cumplen un papel fundamental puesto que hacen trabajar a los muros en conjunto, aportando mayor rigidez lateral y mejorando el comportamiento de la estructura al controlar las deformaciones laterales (Escobar Morales, 2008).

De lo observado luego de los sismos en la región se puede indicar que no siempre se considera la importancia del refuerzo en vigas de acople debido a fuerzas en la diagonal. La armadura habitual consiste en refuerzos longitudinales para controlar la flexión y barras ortogonales al eje longitudinal para cortante, denominados estribos (Figura 1a). Sin embargo, en este tipo de vigas dependiendo de la relación de aspecto (longitud/peralte o simbólicamente L/h) el comportamiento puede ser distinto al de vigas habituales sometidas a flexión. En estos casos el cortante puede convertirse en un aspecto crítico, estas fuerzas de corte inducen fuerzas de tensión diagonal que se vuelven importantes y para las cuales la armadura habitual no es suficiente, es por ello por lo que se recomienda emplear elementos diagonales como se muestra en la figura 1b.

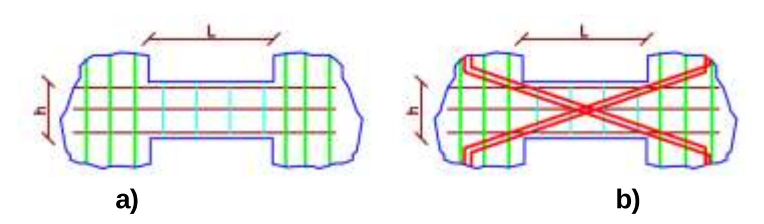


Figura 1 Armadura de vigas de acople; a) Convencional; b) Diagonal

Para poder generar un diseño y detallamiento correcto de muros y vigas de acople es necesario conocer la dirección crítica de los esfuerzos y en base a ello definir una armadura adecuada que permita cumplir con el objetivo estructural de resistencia, rigidez y ductilidad de estos elementos para resistir las deformaciones y fuerzas que actúan en ellos, sin sufrir degradación del material o una falla anticipada. Esta investigación es un aporte para la ingeniería estructural porque es un punto de partida para la realización de mayores estudios que permitan corroborar los modelos numéricos y proponer alternativas de armadura de vigas de acople con el propósito de optimizar estos elementos, es decir que se permita una disminución de costos, tiempos y facilidades constructivas sin perder de vista la seguridad estructural de las edificaciones.

Para el estudio paramétrico se desarrollan modelos de elementos finitos de vigas de acople en base a elementos cuadriláteros de 8 nodos (Q8) y se aplica una carga perpendicular al eje longitudinal de la viga hasta que exista una rotación de 0.02 radianes. Se establece que el límite de rotación en el nivel de prevención de colapso (CP) para la viga de acople reforzada convencional debe estar en el rango de 0.01 a 0.02 radianes (Walunj et al. 2013). Para la rotación de 0.02 rad se obtienen los esfuerzos en el elemento para comparar entre modelos con diferentes relaciones de aspecto de vigas de acople.

2. ESTUDIOS REFERENCIALES SOBRE VIGAS DE ACOPLE

Los elementos estructurales que unen los muros de corte son las vigas de acople, mismas que generalmente son bastante cortas y peraltadas, en los casos cuando la relación de aspecto se encuentra en el rango de longitud/peralte menor que 2 estos elementos tienen la predisposición de fallar debido a cortante en lugar que a flexión. Las fallas a cortante son del tipo frágil, es decir, tienen un comportamiento “explosivo y repentino” lo que no es aconsejable estructuralmente y es por ello por lo que debe diseñarse las vigas de acople para que puedan tener una falla a flexión, esto induce un comportamiento de falla dúctil en el cual se tiene una disipación de energía progresiva antes del agotamiento de la sección.

Es importante mencionar que, si las vigas de acople fueran muy fuertes, se tendría una falla anticipada en los muros de corte debido a las grandes fuerzas axiales y momentos flectores inducidos en ellos. Cuando el sistema estructural es con muros de corte, cualquier daño en los mismos podría poner en peligro la estabilidad del edificio y posterior al evento sísmico la reparación de la estructura se complicaría (Lluncor, 2015).

A continuación, se presentan algunas investigaciones del comportamiento de las vigas de acople que pueden ser considerados como referencias para estudios posteriores:

1. **Investigación del comportamiento de vigas de acople reforzadas convencionalmente.**

La resistencia sísmica de un muro de corte acoplado depende del comportamiento no lineal, en especial de la resistencia y ductilidad de las vigas de

acople. Esta capacidad de disipación de energía es determinada por la capacidad del momento de fluencia y la capacidad de rotación plástica de las vigas de acople (Zhao, Kwan, & He, 2004). En este contexto Walunj, Bhunia Gupta, S., & Gupta, P. (2013) desarrollaron un modelo analítico de la viga de acople para calcular las rotaciones y las capacidades de momento de la viga con el refuerzo convencional. Los resultados del análisis revelan que la capacidad de rotación de la viga depende de la geometría de esta (longitud “Lb”, ancho “bw” y peralte “d”).

2. Análisis de elementos finitos no lineales de vigas de acople de hormigón reforzado con fibra de acero.

Es importante evaluar analíticamente la validez de las técnicas de modelado mediante elementos finitos de las vigas de acople. La investigación de Kim, Jang S., Park, Jang, Y., & Choi en 2018 presenta resultados de los análisis de elementos finitos no lineales realizados en las muestras de viga de acople que contienen hormigones reforzados con fibras de acero (SFRCs). En este estudio se manifiesta que el modelo de elementos finitos realizado en el programa comercial Diana (Displacement ANAlyzer) captura correctamente la degradación de la resistencia y la rigidez con el incremento de los ciclos referente a los experimentos realizados. Para estos modelos se considera el comportamiento no lineal, el análisis es en 2 dimensiones y aplicando la teoría de esfuerzos planos, donde mejoras en el modelo de elementos finitos podrían conducir a mejoras en los resultados de la simulación.

3. Estudio del comportamiento de vigas de gran peralte mediante simulación numérica.

En el estudio realizado por Rodríguez, Plasencia & Rocha en 2014 se realiza una simulación numérica en ABAQUS en conjunto con experimentación para calibración y validación, se puede observar que, debido al incremento de la disipación de tensiones, se forma una grieta diagonal en la zona central de la compresión diagonal en los apoyos, esto es una falla típica por cortante en vigas de gran peralte de hormigón armado.

Según la investigación de Rodríguez, Bonilla & Hernández (2016), se observa la influencia del refuerzo principal y vertical en la capacidad de carga de estas estructuras, siendo más significativo el aporte del refuerzo vertical en vigas con mayor relación luz/peralte, incluso para vigas continuas.

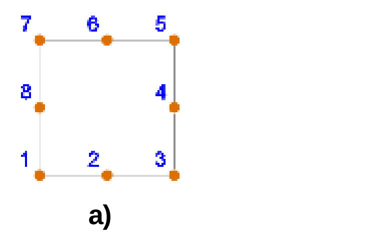
4. Modelado del comportamiento de corte de las vigas de acople con hormigón reforzado con fibra de acero, polipropileno y de vidrio.

En esta investigación el objetivo fundamental es el análisis de modelos matemáticos respecto a los experimentales cuando se desea incluir fibras de acero, polipropileno y vidrio en el hormigón de vigas de acople. El análisis de elementos finitos con el software VecTor2 realizado por Lobet (2017) proporciona resultados muy precisos sobre el comportamiento de falla de las vigas de acople (error del modelo es de 1% respecto a la experimentación). Además, estos resultados son muy parecidos a los obtenidos por el análisis 3PKT desarrollado por Mihaylov et al. (2015) para predecir el comportamiento de corte de las vigas peraltadas de hormigón armado.

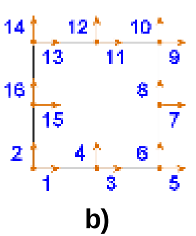
Los resultados respecto al comportamiento de las vigas de acople indican que el esfuerzo cortante disminuye al aumentar la relación longitud/peralte, este comportamiento también fue observado previamente por Gaochuang et al. (2016). La relación de refuerzo longitudinal también tuvo un impacto en la resistencia al corte puesto que, si se aumenta la relación de refuerzo longitudinal, la resistencia al corte también incrementa. Este resultado es bastante lógico puesto que el cortante hiperestático depende del momento último que se desarrolla en el análisis por capacidad de las secciones. Se pudo concluir que al aumentar la relación de volumen de fibra y la resistencia del hormigón, la resistencia al corte de las vigas de acople aumentaba y de igual manera sucede si aumenta el refuerzo transversal.

3. ESTUDIO PARAMÉTRICO

En el análisis de elementos finitos se determina como elemento base para la discretización el denominado Q8, es decir el elemento cuadrilátero de 8 nodos. Este elemento captura adecuadamente el comportamiento de desplazamientos horizontales y verticales para considerar la curvatura en dichos desplazamientos, con un tiempo de análisis racional (Mahran et al., 2017). En la figura 2a se indica la numeración de los nodos de un elemento típico y en la figura 2b se representan los grados de libertad considerados en el análisis.



a)



b)

Figura 2 Elemento cuadrilátero de 8 nodos (Q8); a) Numeración de nodos; b) Identificación de grados de libertad del elemento

Para el estudio del comportamiento de las vigas de acople se desarrollan diferentes modelos con las dimensiones de las vigas que generalmente se emplean en la construcción de estos muros, el ancho es de 0.5m en todos los modelos, la longitud (L) y el peralte (h) se indican en la tabla 1. En algunas ocasiones se tiene pequeñas ventanas de 0.50 m y otras veces es conveniente dejar grandes aberturas, de alrededor de 5.00 m, destinadas para puertas comerciales, parqueaderos o incluso como ducto de ascensores. En este caso para facilitar la compresión de los modelos se utiliza como única variable la longitud de la viga y se mantiene de forma constante el peralte con el objetivo de cubrir en el estudio el siguiente rango de relaciones de aspecto:

Tabla 1 Descripción de las dimensiones de los modelos desarrollados.

L / h	**0.50**	**1.00**	**1.50**	**2.00**	**2.50**	**3.00**	**3.50**	**4.00**	**5.00**
L (m)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	5.00
h (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En las estructuras con muros acoplados generalmente se tienen elementos adyacentes, es decir se conectan por las vigas a otras columnas, están junto a paredes rígidas o incluso la losa genera un diafragma que impiden que las vigas de acople tengan una deformación axial. En este modelo simplificado se debe simular dicha condición y por ello se emplea un empotramiento en un extremo y en el otro caso un apoyo deslizante que impida la deformación axial y permita la rotación del elemento. Otro punto importante en la idealización del modelo de elementos finitos es la diferencia de rigidez de los muros con respecto a las vigas de acople, en este caso por simplicidad se asume que los muros son diez (10) veces más rígidos que las vigas y esta condición no cambiará en todo el análisis, esto se lo hace con el objetivo de reducir una variable adicional en el estudio.

La resistencia a la compresión del hormigón (f´c) para los elementos estructurales muros y viga se escoge como 240 kg/cm^2 puesto que esto es muy común en Ecuador para edificios de mediana altura con muros, además el módulo de elasticidad del material se determina en base a la expresión del ACI-318-19 para hormigones convencionales de tal forma que $E = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$.

En la figura 3a se indica un esquema general de los muros acoplados y de la viga de acople. La figura 3b representa el modelo de elementos finitos de la viga de acople, se muestran unos elementos en la parte inferior y superior que representan al muro de acople y en la figura 3c se puede observar la aplicación de las cargas en los nudos correspondientes a la zona del muro, este patrón de cargas es uniforme y su valor depende del modelo.

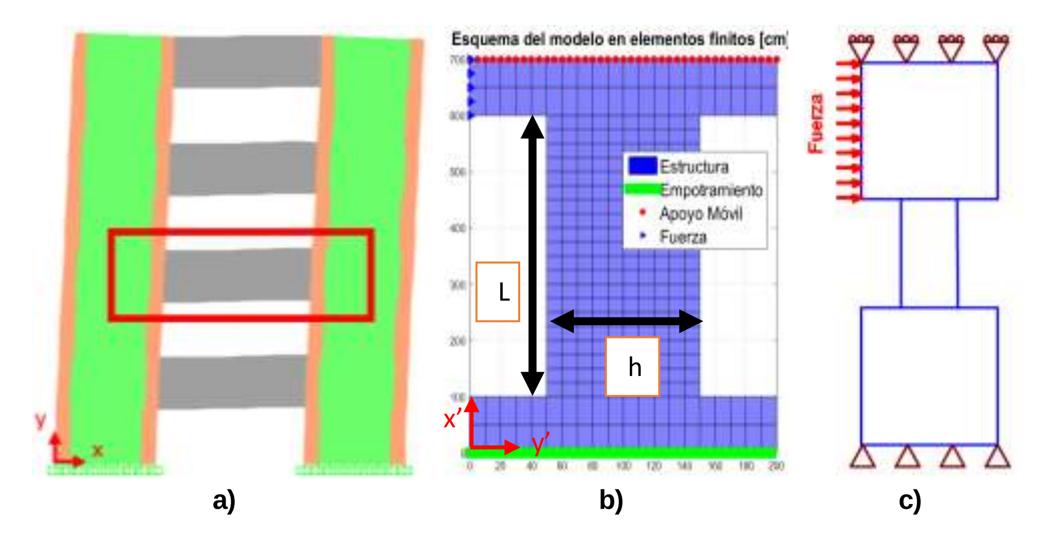


Figura 3 Muros acoplados; a) Esquema general de muros; b) Modelo simplificado; c) Aplicación de cargas en el modelo

Bajo la acción de una carga "F" se determina que la rotación máxima en la viga sea de 0.02 rad considerado como momento de falla del elemento estructural, en la tabla 2 se indica la fuerza en cada modelo.

Tabla 2 Fuerza total aplicada en cada modelo.

L / h	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	5.00
L (m)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	5.00
h (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ftotal (T)	**7175**	**5250**	**3375**	**2475**	**1800**	**1330**	**1050**	**840**	**550**

Para determinar la rotación de la viga de acople se emplean los desplazamientos horizontales, que para este caso representan la deflexión de las vigas (y) como se puede visualizar en la figura 4a y 4c. Con estos valores se identifica una ecuación que describa la variación de posición antes y después de la aplicación de la carga para que al derivar dicha ecuación y evaluarla en cada punto de análisis se pueda obtener los giros ($\Phi = \frac{dy}{dx}$), una representación de este parámetro en función de la longitud de la viga es presentada en la figura 4b y posteriormente se verifica que la rotación será como máximo 0.02 radianes.

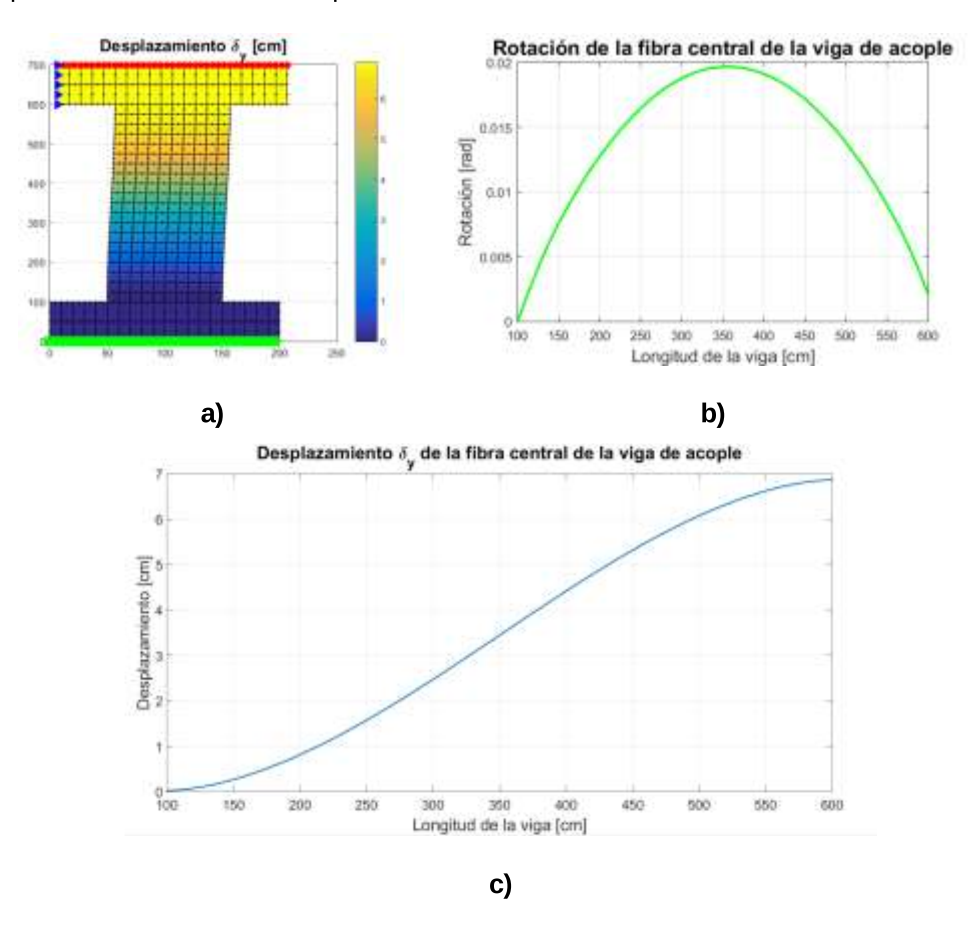


Figura 4 Proceso para determinar el mecanismo de falla de las vigas (Modelo L/h = 5.0); a) Respuesta de desplazamientos del modelo de elementos finitos; b) Rotaciones en el eje central; c) Desplazamientos en el eje central.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los modelos planteados se puede determinar esfuerzos, fuerzas en los nudos y deformaciones; sin embargo, por didáctica se presentará los resultados que se considera más importantes para entender el comportamiento estructural de las vigas de acople y su mecanismo de falla.

Al comparar las deflexiones de las vigas versus las relaciones de aspectos analizadas se puede visualizar que existe una proporcionalidad prácticamente lineal entre estas variables, recordando que el mecanismo de falla se refiere a una rotación de 0.02 rad (figura 5) y que estamos trabajando con modelos de compartamiento elásticos.

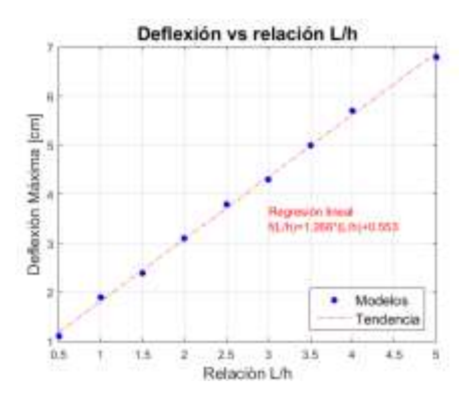
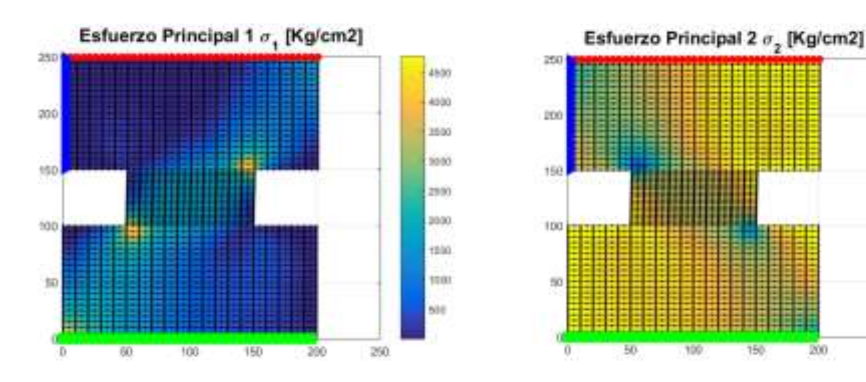


Figura 5 Deflexión máxima en vigas para diferentes relaciones L/h.

En las figuras desde la 6 hasta 9 se muestran los esfuerzos principales 1 y 2, se considera como esfuerzo principal 1 a los máximos valores en tracción de los esfuerzos presentes en el elemento y el esfuerzo principal 2 hace referencia al máximo esfuerzo en compresión que se manifiesta en el elemento. También se presenta la gráfica del esfuerzo cortante para las relaciones L/h de 0.5; 2.0; 3.5; 5.0 y en el anexo se ilustra los resultados de las relaciones intermedias.

Se puede evidenciar que en las vigas con relación L/h pequeñas (menores a 3) se tiene una gran concentración de esfuerzos en todo el elemento, mientras que a medida que se hace más grande la relación L/h estos esfuerzos son distribuidos de forma más uniforme y no se concentran en todo el elemento.



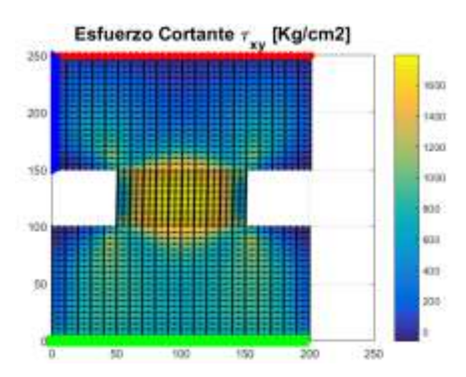


Figura 6 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 0.5.

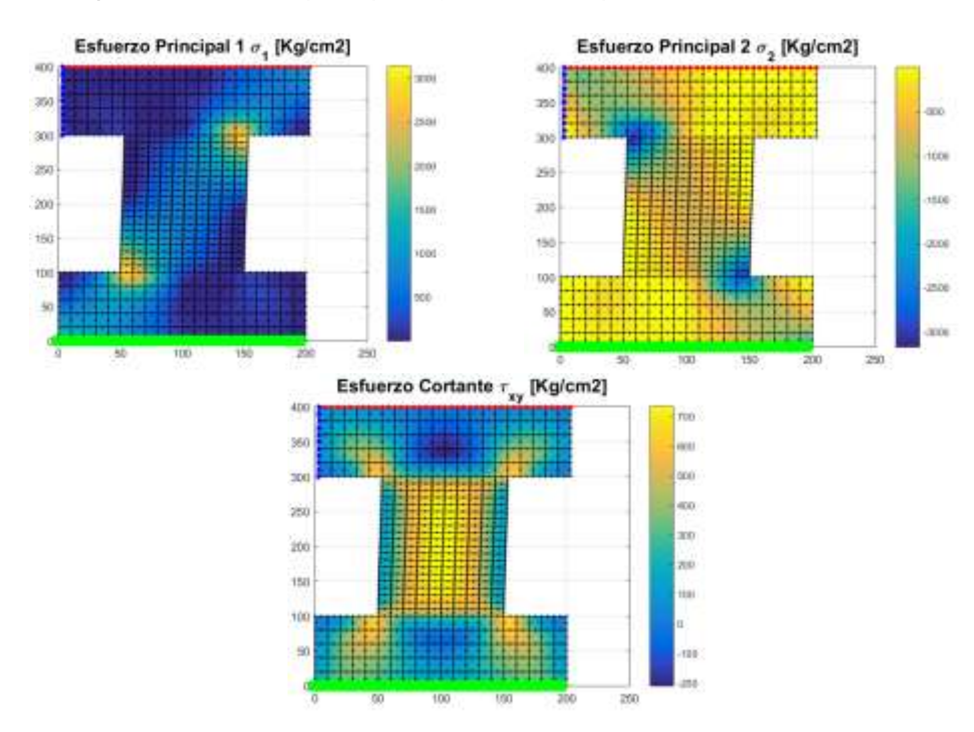
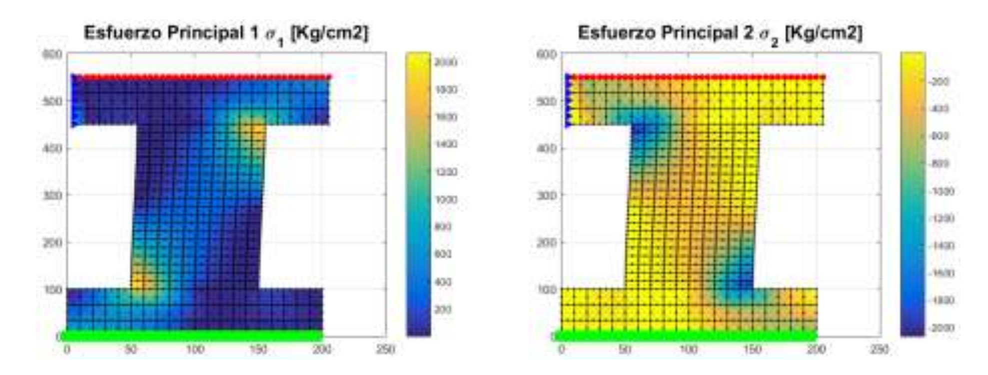


Figura 7 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 2.0.



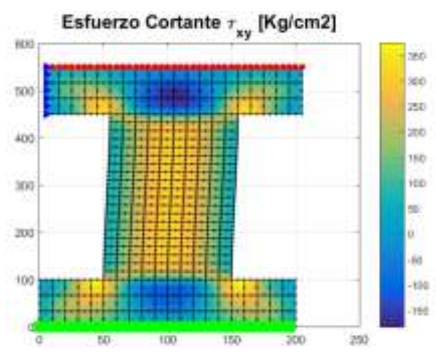


Figura 8 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 3.5.

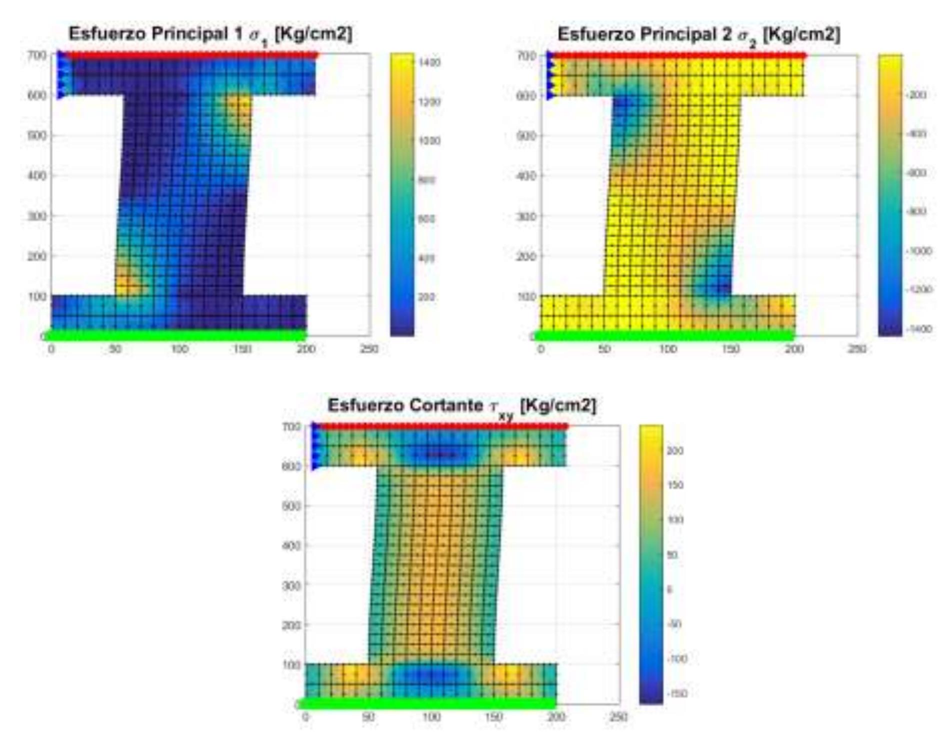


Figura 9 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 5.0.

Los esfuerzos son inversamente proporcionales a la relación de aspecto de las vigas (L/h), es decir que las vigas con relaciones de aspecto menores presentan esfuerzos más grandes tanto de tracción (figura 10a), compresión (figura 10b), como cortante (figura 10c). Los esfuerzos de compresión, tracción y de corte presentados en la viga, es decir en el hormigón, superan la resistencia del material $f'c = 240\ kg/cm^2$, $ft = 0.10 \cdot f'c = 24\ kg/cm^2$ y $vc = 0.53 * \sqrt{f'c} = 7.68\ kg/cm^2$ lo que físicamente se traduciría en grietas o incluso en una falla de índole explosiva haciendo que estas zonas exploten debido a los sobreesfuerzos.

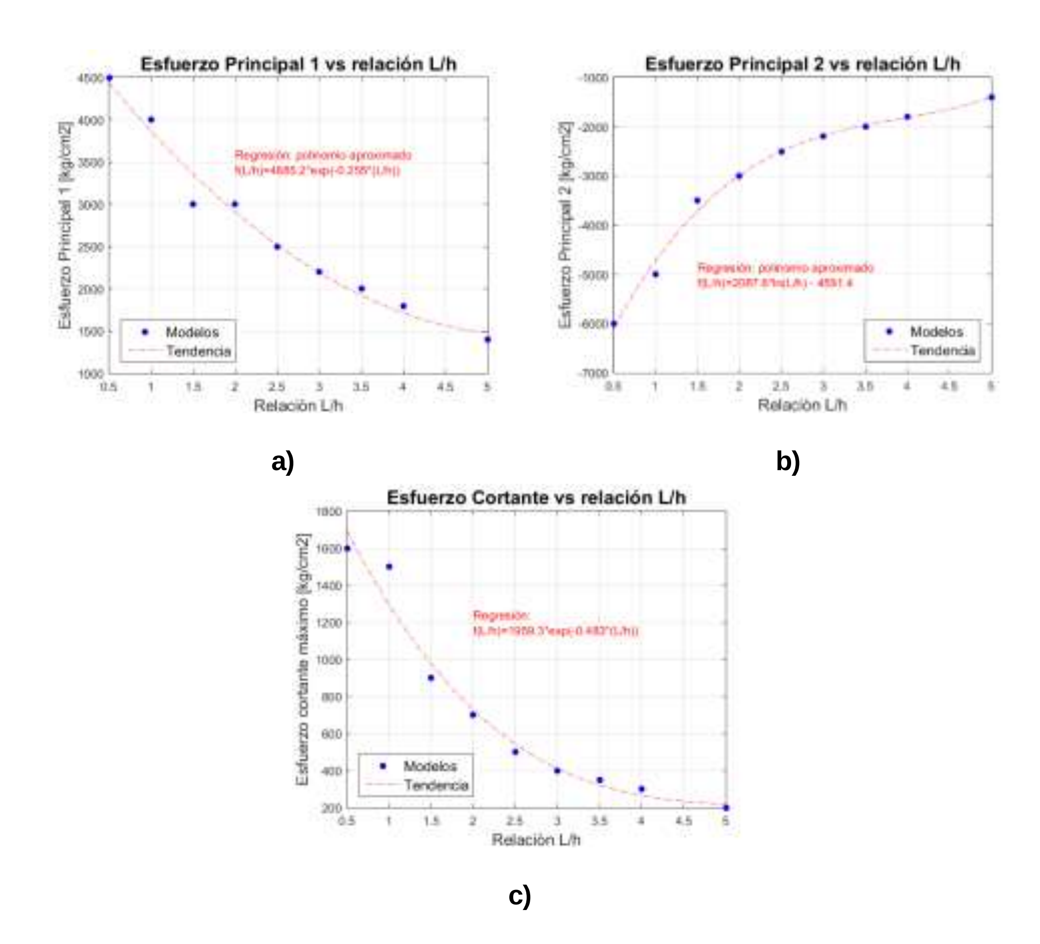


Figura 10 Esfuerzos en vigas de acople para diferentes relaciones L/h; a) Esfuerzo principal 1; b) Esfuerzo principal 2; c) Esfuerzo de corte.

El ACI 318-19, recomienda el uso de diagonales para vigas con una relación de aspecto menor que 4 debido a que en estos casos ya no es aplicable la denominada “analogía de la celosía” puesto que geométricamente es imposible suministrar la longitud de desarrollo para alcanzar la fluencia en las barras de acero y lo exige para valores menores que 2. En esta investigación se puede corroborar que dichas afirmaciones son válidas y deben ser tomadas en cuenta debido a las condiciones de esfuerzos en los elementos y que podrían inducir fallas frágiles. Para relaciones de aspecto menores se tiene una “diagonal” con una gran inclinación y algunos experimentos han corroborado que en estos casos el refuerzo orientado diagonalmente es efectivo, pero aún se sigue investigando alternativas del diseño de vigas de acople que permitan desarrollar la capacidad de los muros con una menor cantidad de acero debido a las complicaciones que ello representa constructivamente.

5. CONCLUSIONES

En todas las investigaciones mencionadas y en otras de carácter investigativo similar se puede comprobar la influencia que tiene la relación de aspecto de las vigas en su comportamiento a cortante. Se ha evidenciado un incremento de la solicitud de corte a medida que se disminuye la luz respecto a una sección debido a la compresión diagonal en la sección crítica de la viga.

La realización de modelos con elementos finitos representa una gran ventaja científica y económica con resultados similares a los ensayos reales, además permite apreciar los fenómenos físico-mecánicos de forma clara, visualizar la evolución del daño al aumentar las cargas.

Se presentó investigaciones relevantes sobre el comportamiento de las vigas con diferentes relaciones de aspecto. Se detalla cómo se abordaron estos estudios en cada caso y los resultados más relevantes observados por los investigadores. Se puede concluir que todos coinciden en que la simulación numérica es una herramienta ideal para poder estudiar estos fenómenos, pero sin dejar de lado la experimentación que es considerada la respuesta más aproximada a la realidad por ser modelos reproducidos mediante ensayos de laboratorio.

Las vigas de acople cuya relación de longitud peralte es mayor a 4 se comportan como vigas sometidas principalmente a flexión, eso quiere decir una zona de compresión y tensión a lo largo de la viga (bajo el eje neutro y sobre el mismo). Esta forma de trabajo es la que se presenta generalmente en las vigas y el refuerzo transversal es de la forma tradicional.

Las vigas cortas cuyo peralte es mayor que su longitud o hasta la mitad de la longitud presentan problemas en cuanto a excesiva compresión y tracción en la diagonal, eso se explica con la dirección de los esfuerzos, es decir que se puede visualizar una zona denominada “tensión diagonal” y en consecuencia no es conveniente la forma tradicional del refuerzo transversal sino más bien emplear armaduras con refuerzo diagonal.

6. ESTUDIOS FUTUROS

Se puede observar que la información referente a vigas de acople como un tema específico es muy limitado y se requiere de mayores investigaciones para describir adecuadamente este comportamiento; generalmente se estudia vigas de gran peralte y se realizan analogías al comportamiento de las vigas de acople; sin embargo, muchos autores sugieren realizar estudios más detallados en cuanto al comportamiento de las vigas de acople puesto que tienen relación directa con el comportamiento estructural de los muros acoplados.

Es recomendable plantear un estudio a través de elementos tridimensionales para realizar el análisis expuesto anteriormente puesto que es posible que tenga una mejor representación del comportamiento estructural debido a la relación de las dimensiones del plano versus el espesor de los elementos y determinar si un análisis más completo puede evidenciar mecanismos de falla adicionales que tengan que ver con inestabilidad de las vigas acople frente a las

acciones.

En base al comportamiento de las vigas de acople se puede extrapolar la idea que la cimentación de muros acoplados también presentará un comportamiento similar que dependerá de la relación de aspecto de las vigas de acople. Es decir, que las reacciones del suelo son distintas para cada caso de acople de los muros y eso influye en el diseño de la cimentación y en las consideraciones especiales de apoyo que deben cumplir. Por lo tanto, se podría continuar con un estudio más detallado de las reacciones en el suelo para diferentes relaciones de muros acoplados.

REFERENCIAS

1. ACI Committee 318, 2019. "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary". American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
2. Alcocer, S. M. (1995). Comportamiento y Diseño de estructuras de concreto reforzado: Muros Estructurales. México. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). feb. 1995. México, DF MX.
3. Chai, Y., & Elayer, D. (1999). Lateral stability of reinforced concrete columns under axial reversed cyclic tension and compression. Structural Journal, 96(5), 780-790.
4. Escobar Morales, J. (2008). Estudio Analítico de Soluciones Alternativas a las Disposiciones de Armadura Diagonal en Dinteles Cortos. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103273
5. Dávila, J. T. M. (2005). Análisis y diseño sísmico por desempeño de edificios de muros estructurales (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES).
6. Galano, L., & Vignoli, A. (2000). Seismic behavior of short coupling beams with different reinforcement layouts. Structural Journal, 97, 876-885.
7. Gaochuang, C., Jun, Z., Degée, H., Vandoren, B. (2016). "Shear capacity of steel fibre reinforced concrete coupling beams using conventional reinforcements", Engineering Structures, Vol. 128, pp. 428-440
8. Kim, S. W., Yun, H. D., Jang, S. J., Park, W. S., Jang, Y. I., & Choi, C. S. (2018). Nonlinear finite element analysis of steel fiber-reinforced concrete coupling beams. In Computational Modelling of Concrete Structures (pp. 889-893). CRC Press.
9. Lobet, R. (2017). Modelling of the shear behaviour of coupling beams with fibre reinforced concrete.
10. Lluncor, L. (2015). Propuesta de análisis de muros de corte empleando un modelo de desplazamientos esperados en edificaciones.
11. Mahran, M., ELsabbagh, A., & Negm, H. (2017). A comparison between different finite elements for elastic and aero-elastic analyses. Journal of advanced research, 8(6), 635-648.
12. Mihaylov, B. I., 2015. "Five-Spring Model for Complete Shear Behavior of Deep Beams", Structural concrete, Vol. 16, No. 1, pp. 71-83.

13. Park R., Paulay T., “Reinforced Concrete Structures”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1983.
14. Paulay, T., & Priestley, M. (1993). Stability of Ductile Structural walls. ACI Structural Journal, 90, 385-392.
15. Pérez, M. E. (2009). Algunos criterios para el uso de muros sismorresistentes en edificaciones. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
16. Plasencia, G. R., Rocha, J. D. B., & Santana, J. J. H. (2012). Aplicación de la simulación numérica al estudio del comportamiento de vigas de gran peralto de hormigón armado. Ingeniería civil, (167), 101-116.
17. Reyes, R., & Alonso, W. (2014). Comparación de esfuerzos cortantes en vigas de concreto reforzado de gran altura, mediante el método de los elementos finitos y el modelo puntal–tensor (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
18. Rodríguez, G, Bonilla, J, & Hernández, J. (2016). Modelación numérica de vigas continuas de gran peralto de hormigón armado. Revista ingeniería de construcción, 31(3), 163-174. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000300002
19. Rodríguez, S. S., Plasencia, G. R., & Rocha, J. D. B. Estudio del comportamiento de vigas de gran peralto de hormigón armado mediante simulación numérica.
20. Bastias, K. (2018). Estudio experimental de la formación de rótula plástica y análisis de daño de muros acoplados de hormigón armado usando fotogrametría.
21. Zhao, Z., Kwan, A., & He, X. (2004). Nonlinear finite element analysis of deep reinforced concrete coupling beams. Engineering Structures, 26, 13-25.
22. Walunj, A. K., Bhunia, D., Gupta, S., & Gupta, P. (2013). Investigation on the Behavior of Conventional Reinforced Coupling Beams. Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal, 4(4).

ANEXO 1.0

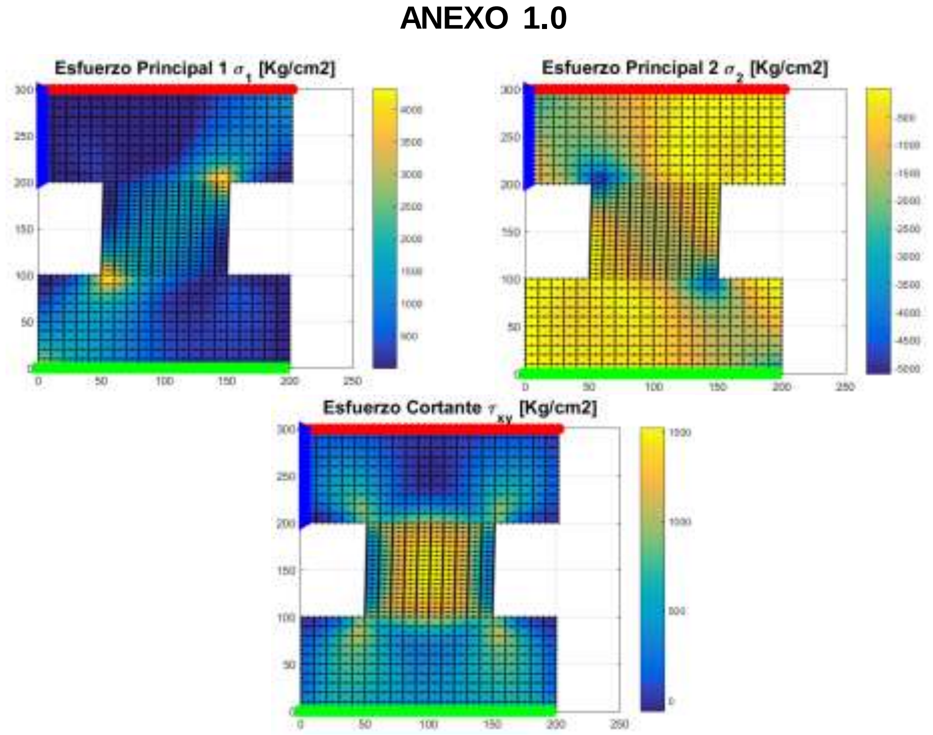


Figura 11 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 1.0.

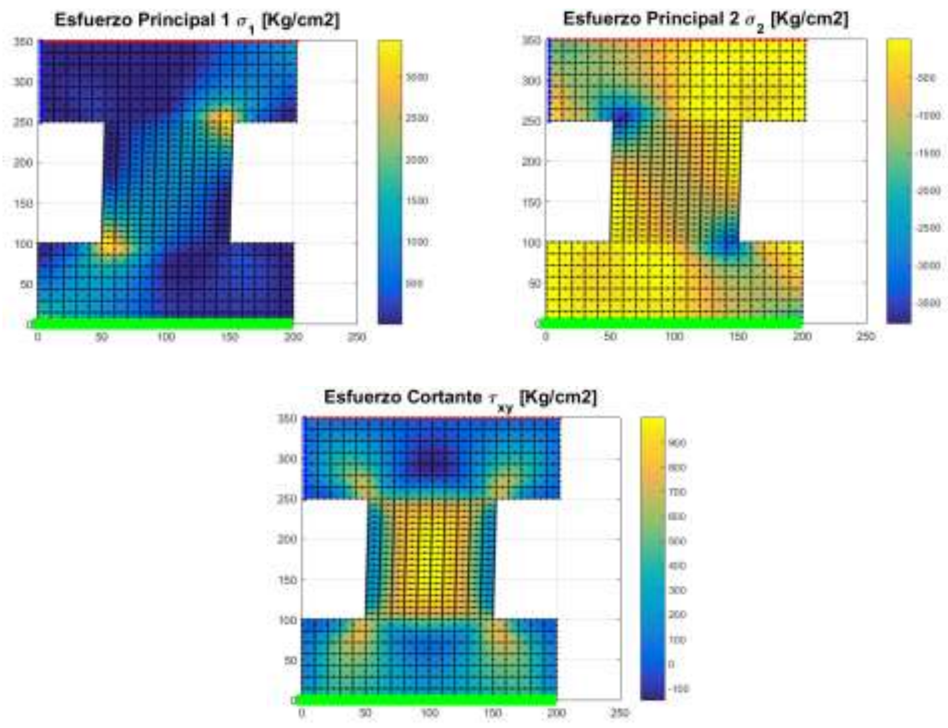


Figura 12 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 1.5.

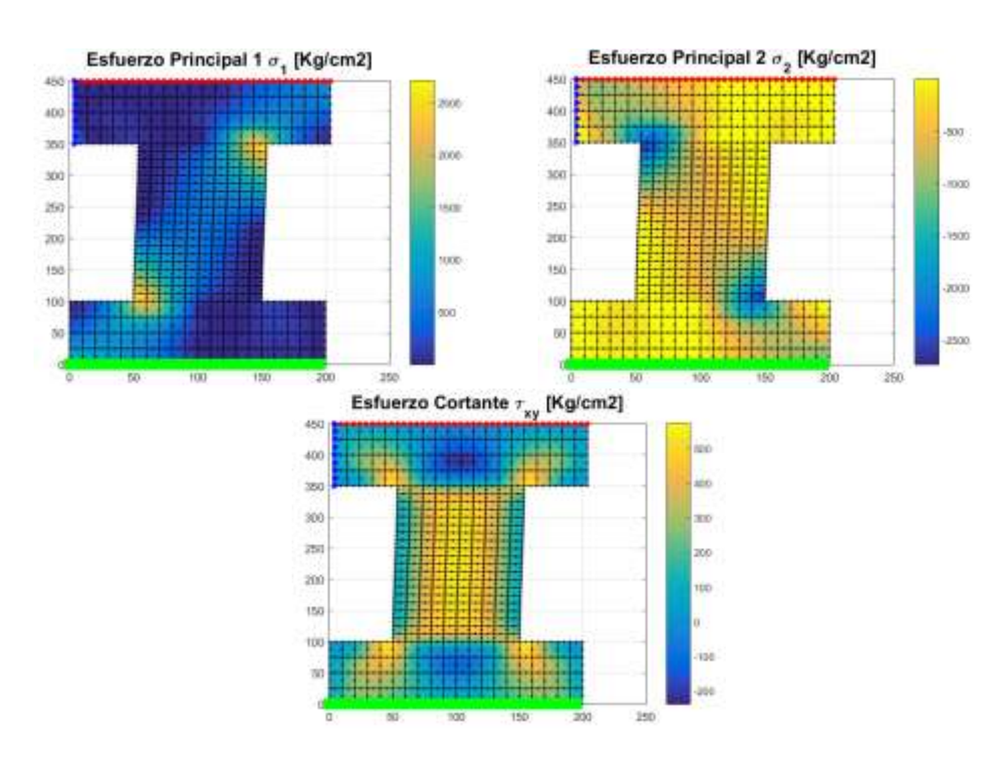


Figura 13 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 2.5.

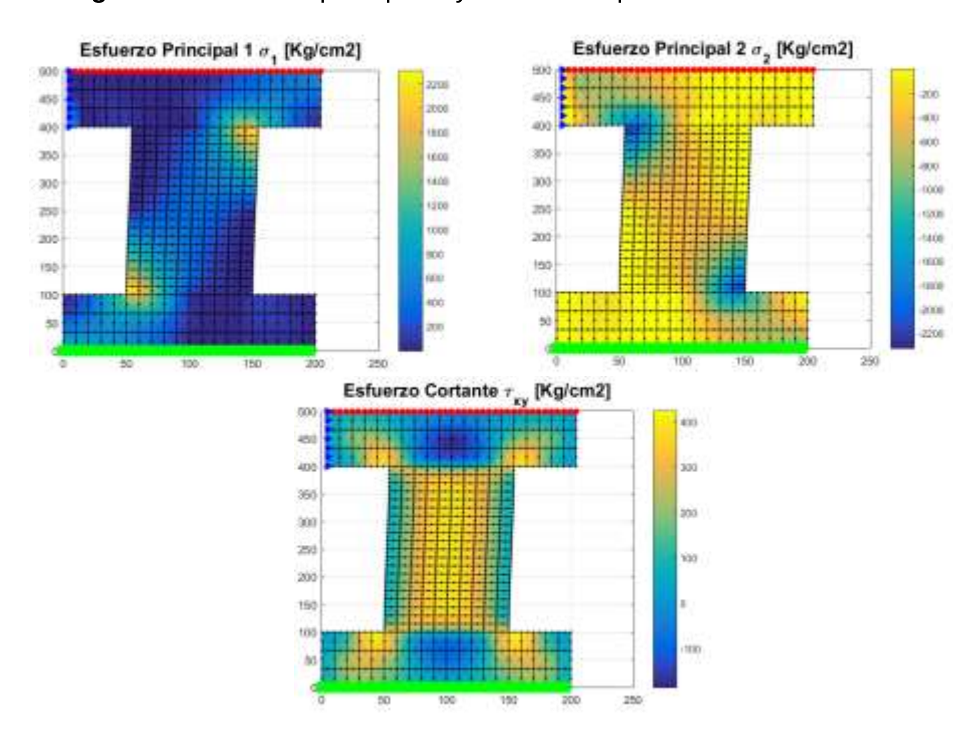


Figura 14 Esfuerzos principales y de cortante para una relación L/h = 3.0.